



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
РОСДОРНИИ

Разработка предложений по расширению возможностей и требований к измерению микропрофиля проезжей части автомобильных дорог

Конорев Александр Сергеевич

Заместитель директора департамента
научно-технического развития и стандартизации
кандидат технических наук, доцент



ПОКРЫТИЯ ДОРОЖНЫЕ. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РОВНОСТИ. ГОСТ 33101-2014



Продольная ровность проезжей части

Качественная характеристика состояния поверхности дорожного покрытия по геометрическим параметрам, способным оказывать влияние на колебания движущегося транспортного средства

Длина волны неровности

Внезапно, ключевые особенности структуры проекта, инициированные исключительно синтетически, обнаружены.

Микропрофиль проезжей части

Продольное сечение поверхности автомобильной дороги в виде массива ординат (вертикальных отметок), содержащего неровности, оказывающие влияние на вертикальные колебания автомобиля

Фильтрация микропрофиля (фильтр)

Математическая процедура преобразования массива ординат микропрофиля дорожного покрытия с целью исключения из микропрофиля неровностей с частотами, выходящими за пределы интересующего диапазона

Высокоскоростной профилометр

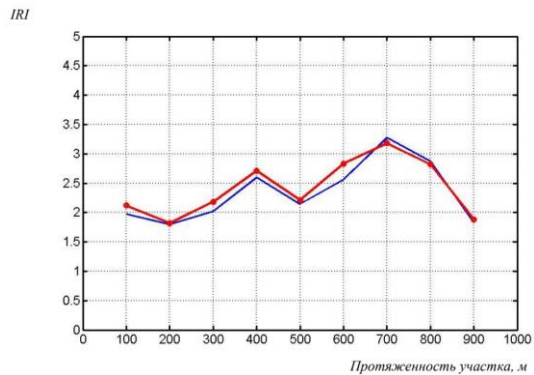
Противоположная точка зрения подразумевает, что сделанные на базе интернет-аналитики выводы могут быть объявлены нарушающими общечеловеческие нормы этики и морали.

Международный показатель ровности IRI, мм/м

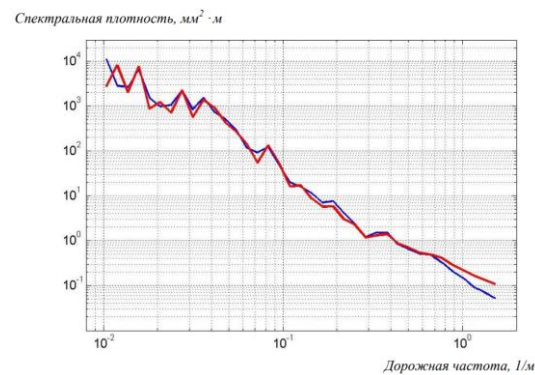
Отношение величины суммарного перемещения неподдресоренной массы (колеса) относительно поддресоренной (кузова автомобиля) к длине участка дороги.

В соответствии с **ГОСТ 33101–2014** результатом измерения ровности покрытий автомобильных дорог является **продольный микропрофиль** в виде массива ординат.

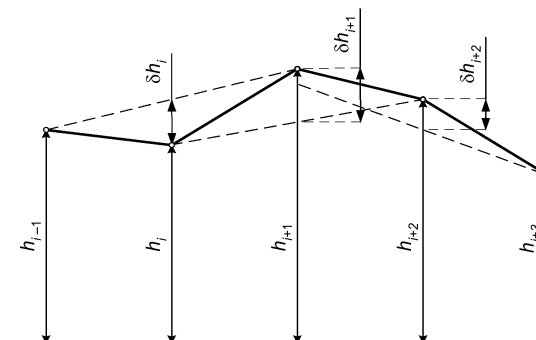
Используя специальные программные средства на основании исходных данных в виде массива ординат микропрофиля, можно вычислять такие показатели ровности покрытия, как:



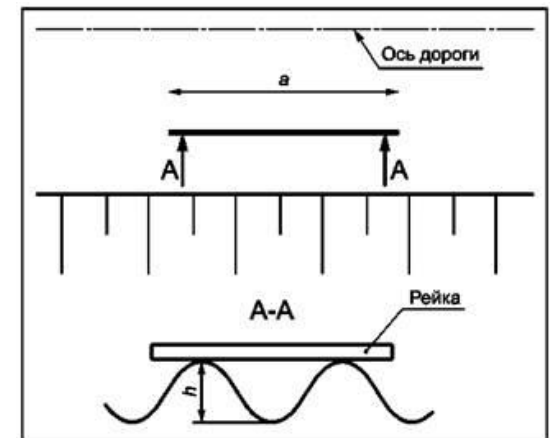
Международный
показатель ровности (IRI)



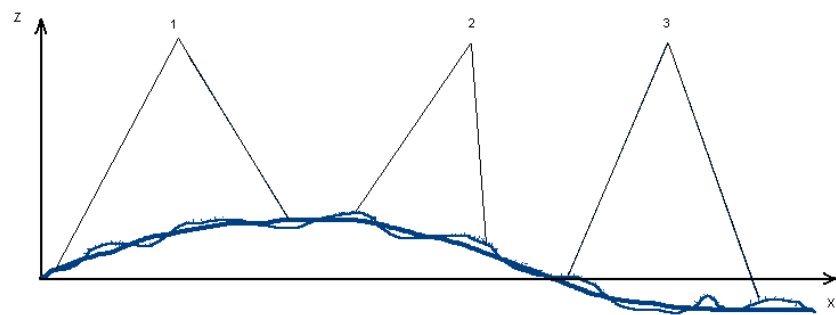
Спектральная плотность дисперсии
ординат микропрофиля (СПД ОМ).



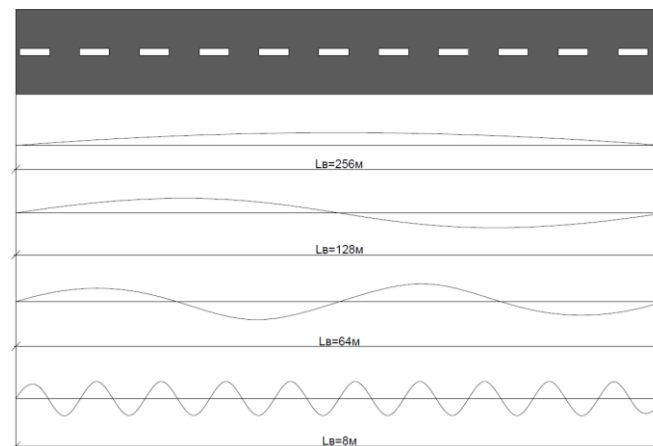
Разность
вертикальных отметок



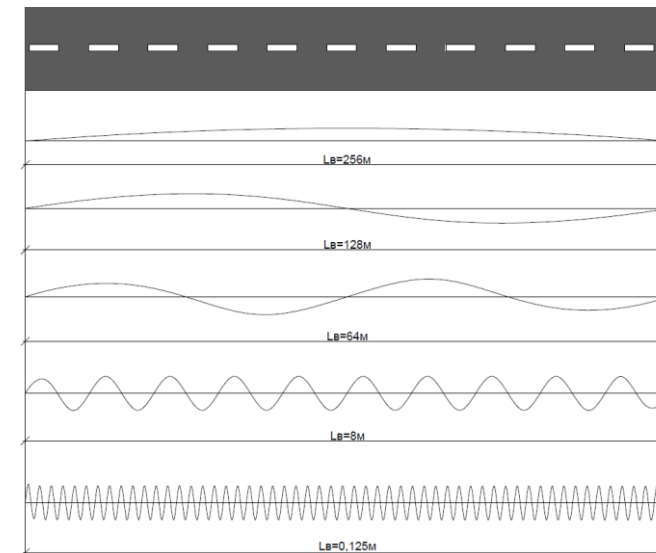
Количество просветов
под трехметровой рейкой



Неровности макропрофиля



Неровности микропрофиля



Микроскопические неровности

ГОСТ 33101-2014 регламентирует методы, позволяющие измерять и записывать ординаты микропрофиля проезжей части автомобильных дорог, устанавливает единые требования к профилометрам, показателям точности измерений, условиям проведения измерений, форме представления результатов измерений, способам обработки этих результатов, а также перечень и способы вычисления показателей продольной ровности покрытий автомобильных дорог

Данные о продольном микропрофиле каждого записанного участка автомобильной дороги должны быть представлены отдельным файлом, содержащим массив ординат микропрофиля с указанием шага записи (в метрах) и числа точек массива.

Формат записи файла определяется производителем профилометра.

Шаг записи массива ординат продольного микропрофиля проезжей части должен быть не более 0,125 м.

Профилометры по классу точности

1-й класс точности

2-й класс точности

Точность и повторяемость определения показателя IRI для профилометров 1-го класса не должна превышать 5%, для профилометров 2-го класса - 10%.

| Наименование показателя | Номер диапазона | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Заголовок | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Диапазон длин волн | | 0,707 - 1,414 | 1,414 - 2,828 | 2,828 - 5,657 | 5,657 - 11,314 | 11,314 - 22,627 | 22,627 - 45,255 | 45,255 - 90,510 |

По 6-му диапазон длин волн 2-й класс точности для профилометров не определяется

Расчет показателя IRI производится путем моделирования проезда автомобиля с заданными параметрами по поверхности покрытия и подсчета суммарного перемещения неподдрессоренной массы относительно поддрессоренной. Показатель IRI определяется как отношение указанного вертикального перемещения к длине участка.

При этом:

1

Фильтрация микропрофиля не производится.

2

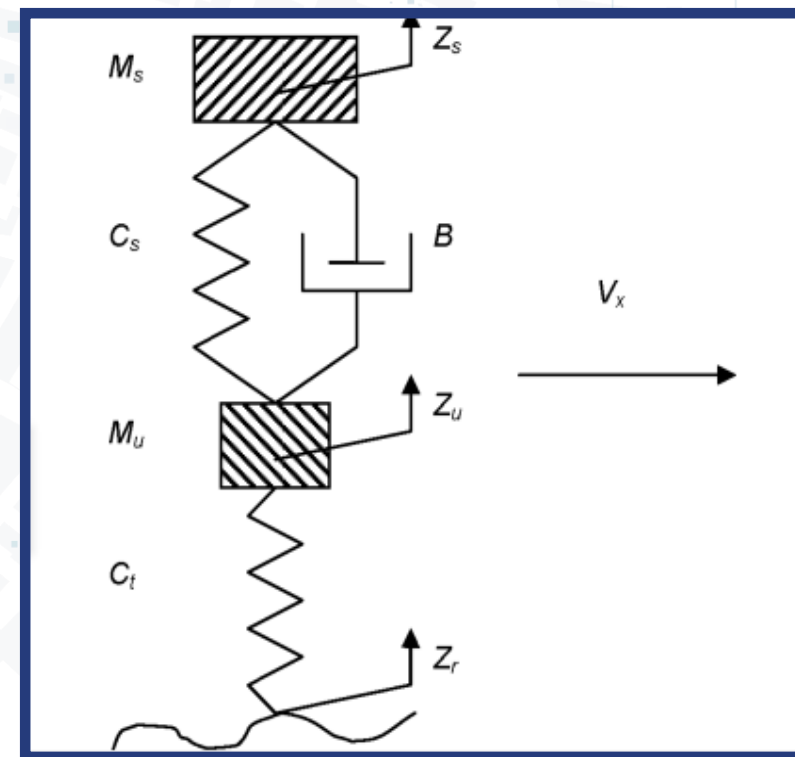
Шаг записи массива ординат продольного микропрофиля проезжей части должен быть не более 0,125 м.

3

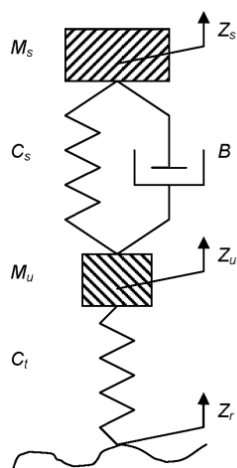
Показатель IRI, как правило, определяют для каждых 100 м, каждых 1000 м и для всей длины записанного участка автомобильной дороги.

4

На каждом шаге продольного микропрофиля, исходя из текущего состояния модели и входного воздействия проводится расчет нового состояния модели



ВЫЧИСЛЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ РОВНОСТИ IRI В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ 33101–2014



| | |
|-----------|---|
| Ms | подрессоренная масса; |
| Zs | вертикальная координата подрессоренной массы; |
| Cs | жесткость пружины (рессоры); |
| B | коэффициент вязкого трения амортизатора; |
| Mu | неподрессоренная масса; |
| Zu | вертикальная координата неподрессоренной массы; |
| Ct | жесткость шины; |
| Zr | высотная отметка поверхности |

| | |
|---|-------------|
| Соотношение неподрессоренной и подрессоренной масс, $K_m = M_u / M_s$ | 0,15 |
| Отношение жесткости шины к подрессоренной массе, $K_t = C_t / M_s, 1/\text{сек}^2$ | 653 |
| Отношение жесткости рессоры (пружины) к подрессоренной массе, $K_s = C_s / M_s, 1/\text{сек}^2$ | 63,3 |
| Отношение коэффициента вязкого трения амортизатора к подрессоренной массе, $K_b = B / M_s, 1/\text{сек}$ | 6 |
| Скорость движения V_x , км/час | 80 |

На каждом шаге продольного микропрофиля i , исходя из текущего состояния модели и входного воздействия $(Z_r)_i$, необходимо проводить **расчет нового состояния модели** с определением суммарного перемещения неподрессоренной массы относительно подрессоренной Z_{IRI} (мм) по формуле:

$$Z_{IRI} = \sum_{i=1}^N |(Z_s - Z_u)_i - (Z_s - Z_u)_{i-1}|$$

| | | | |
|-----------|---|-------|---|
| Z_{IRI} | суммарное перемещение неподрессоренной массы относительно подрессоренной, мм; | i | номер шага моделирования; |
| | | Z_s | вертикальная координата подрессоренной массы, мм; |
| N | количество шагов моделирования; | Z_u | вертикальная координата неподрессоренной массы, мм. |

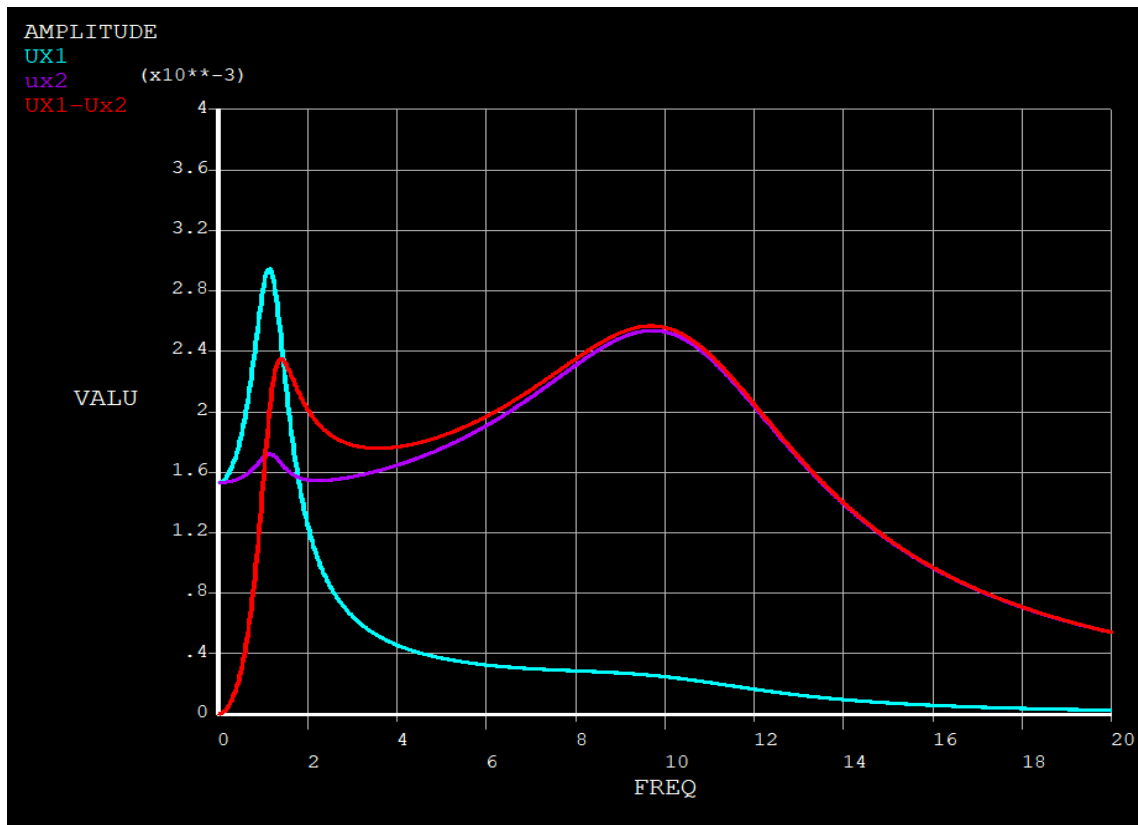
Тогда **международный показатель ровности IRI** (мм/м) для выбранного расчетного участка длиной L (м) вычисляют по формуле:

$$IRI = Z_{IRI} / L$$

L | длина выбранного расчетного участка, м;

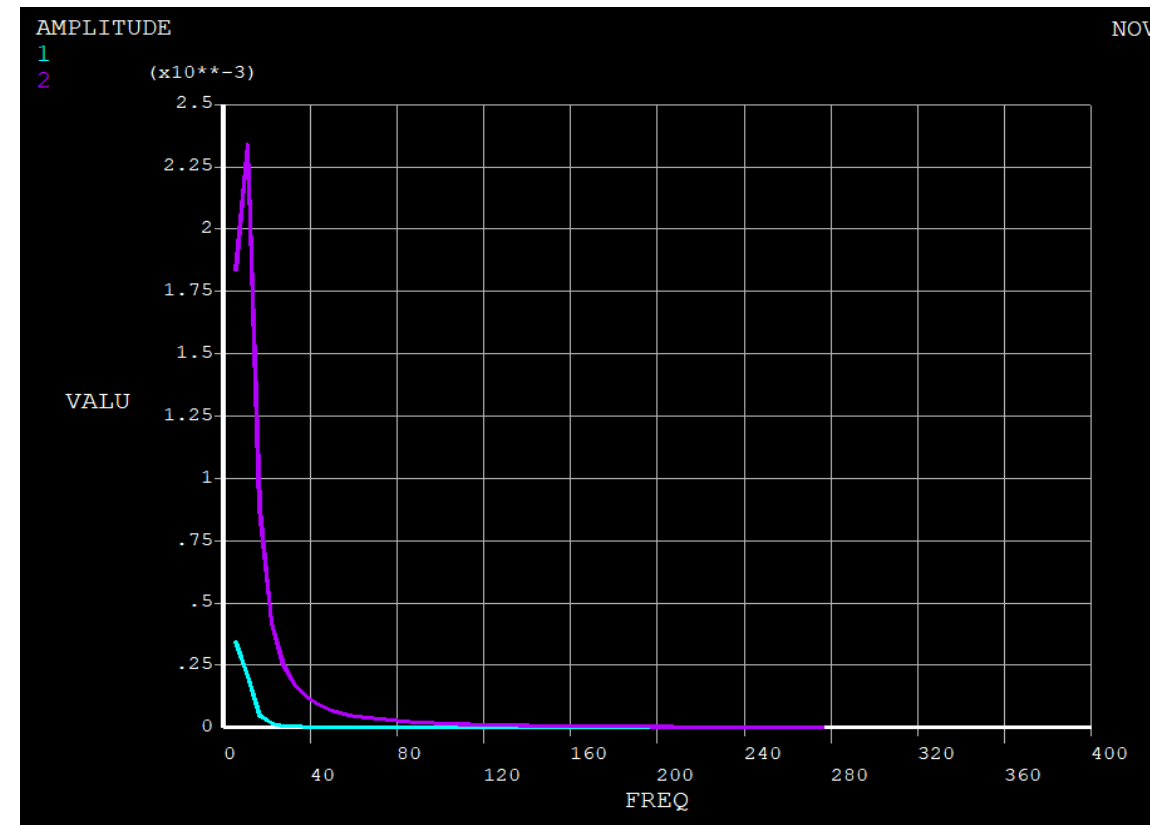
Расчетная схема для вычисления показателя IRI

ВЫЧИСЛЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ РОВНОСТИ (IRI) В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ 33101–2014



Расчет с шагом по частоте 0,02 Гц

синяя - частотные характеристики перемещения неподрессоренной массы (UX1),
сиреневая - частотные характеристики перемещения поддрессоренной массы (UX2),
красная - частотные характеристики перемещения неподрессоренной массы относительно поддрессоренной (UX1- UX2).



Расчет с шагом по частоте 5 Гц

синяя - частотные характеристики перемещения неподрессоренной массы (1),
сиреневая - частотные характеристики перемещения неподрессоренной массы относительно поддрессоренной и перемещения поддрессоренной массы (2, при частотах более 20 Гц они совпадают)

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) перемещений рассматриваемой расчетной схемы для вычисления показателя IRI

FREQ = f (Гц); VALU = A (м)

ВЫЧИСЛЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ РОВНОСТИ (IRI) В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ 33101 – 2014

| Частота f, Гц | Круговая частота ω , цикл/сек | Частота дорожных неровностей** n, цикл/м | Частота дорожных неровностей** Ω , рад/м | Длина волны неровности l, м | Амплитуда A*, м | Относительная амплитуда, A/Aмах |
|------------------|---|---|--|--------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 0.0200 | 0.126 | 0.00090 | 0.0057 | 1111.1 | 3.84E-07 | 0.000150 |
| 0.0400 | 0.251 | 0.00180 | 0.0113 | 555.6 | 1.54E-06 | 0.000598 |
| 0.0600 | 0.377 | 0.00270 | 0.0170 | 370.4 | 3.46E-06 | 0.00135 |
| 0.200 | 1.257 | 0.00900 | 0.0565 | 111.1 | 3.92E-05 | 0.0153 |
| 0.276 | 1.735 | 0.0110 | 0.0694 | 90.51 | 7.84E-05 | 0.0305 |
| 0.552 | 3.471 | 0.0221 | 0.139 | 45.26 | 3.55E-04 | 0.1382 |
| 1.400 | 8.796 | 0.0630 | 0.396 | 15.87 | 2.35E-03 | 0.9148 |
| 2.000 | 12.57 | 0.0900 | 0.565 | 11.11 | 2.02E-03 | 0.7861 |
| 3.580 | 22.49 | 0.161 | 1.012 | 6.207 | 1.76E-03 | 0.6849 |
| 9.700 | 60.95 | 0.437 | 2.743 | 2.291 | 2.57E-03 | 1.0000*** |
| 17.68 | 111.1 | 0.707 | 4.444 | 1.414 | 7.43E-04 | 0.2895 |
| 20.00 | 125.7 | 0.900 | 5.655 | 1.111 | 5.42E-04 | 0.2109 |
| 35.36 | 222.2 | 1.414 | 8.887 | 0.707 | 1.67E-04 | 0.0652 |
| 40.00 | 251.3 | 1.800 | 11.31 | 0.556 | 1.10E-04 | 0.0429 |
| 60.00 | 377.0 | 2.700 | 16.96 | 0.370 | 4.68E-05 | 0.0182 |
| 80.00 | 502.7 | 3.600 | 22.62 | 0.278 | 2.49E-05 | 0.00969 |
| 100.0 | 628.3 | 4.500 | 28.27 | 0.222 | 1.72E-05 | 0.00670 |
| 140.0 | 879.6 | 6.300 | 39.58 | 0.159 | 8.21E-06 | 0.00320 |
| 180.0 | 1131 | 8.100 | 50.89 | 0.123 | 5.09E-06 | 0.00198 |
| 220.0 | 1382 | 9.900 | 62.20 | 0.101 | 3.46E-06 | 0.00135 |
| 280.0 | 1759 | 12.60 | 79.17 | 0.0794 | 2.21E-06 | 0.000861 |

* - амплитуда при приложении единичной нагрузки; ** - для скорости (V) V = 80 км/час; *** - $\max = 0,00257$ Связь частот и длины волны неровности : $f = n \cdot V$; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$; $\omega = \Omega \cdot V$; $\Omega = 2 \cdot \pi \cdot n$; $l = 1/n$

Частоты локальных максимумов АЧХ перемещения неподдресоренной массы относительно поддресоренной (UX1- UX2) рассматриваемой расчетной схемы для вычисления показателя IRI: $f_1 = 1,400$ Гц и $f_2 = 9,700$ Гц. Собственные частоты рассматриваемой расчетной схемы для вычисления показателя IRI: $f_1 = 1,2057$ Гц и $f_2 = 11,002$ Гц

ВЫВОД

При частотах $f < 0,06$ Гц и $f > 220$ Гц амплитуда перемещения неподдресоренной массы относительно поддресоренной уменьшается в 800 раз, т.е. достаточно(с учетом погрешности замера продольного микропрофя) рассмотреть: диапазон длин волн неровностей от 0,1 м до 400 м

В ГОСТ 33101–2014 указаны требования к точности воспроизведения высотных отметок и усредненных амплитуд неровностей профилометрами разных классов:

| Наименование показателя | Номер диапазона | | | | | | |
|--|-----------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Диапазон длин волн | 0,707 - 1,414 | 1,414 - 2,828 | 2,828 - 5,657 | 5,657 - 11,314 | 11,314 - 22,627 | 22,627 - 45,255 | 45,255 - 90,510 |
| Точность и повторяемость воспроизведения усредненной амплитуды неровностей в каждом диапазоне длин волн не должна превышать указанных ниже значений | | | | | | | |
| 1-й класс точности | 10% | | 5% | | 10% | | |
| 2-й класс точности | 15% | | 10% | | - | | |
| Точность и повторяемость ординат микропрофиля в каждом диапазоне длин волн; в каждом диапазоне длин волн не должна превышать указанных ниже значений | | | | | | | |
| 1-й класс точности | 0,5 мм | 1 мм | | 2 мм | | 5 мм | |
| 2-й класс точности | 1 мм | 2 мм | | 5 мм | | - | |

| Частота f, Гц | Круговая частота ω, цикл/сек | Частота дорожных неровностей** n, цикл/м | Частота дорожных неровностей** Ω, рад/м | Длина волны неровности l, м | Амплитуда A*, м | Относительная амплитуда, A/Амах |
|------------------|---------------------------------|---|--|--------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 0.0600 | 0.377 | 0.00270 | 0.0170 | 370.4 | 3.46E-06 | 0.00135 |
| 0.276 | 1.735 | 0.0110 | 0.0694 | 90.51 | 7.84E-05 | 0.0305 |
| 0.552 | 3.471 | 0.0221 | 0.139 | 45.26 | 3.55E-04 | 0.1382 |
| 9.700 | 60.95 | 0.437 | 2.743 | 2.291 | 2.57E-03 | 1.0000*** |
| 17.68 | 111.1 | 0.707 | 4.444 | 1.414 | 7.43E-04 | 0.2895 |
| 35.36 | 222.2 | 1.414 | 8.887 | 0.707 | 1.67E-04 | 0.0652 |
| 88.9 | 558.5 | 4.000 | 25.13 | 0.25 | 2.11E-05 | 0.00822 |
| 177.8 | 1117.0 | 8.000 | 50.27 | 0.125 | 5.11E-06 | 0.00199 |
| 220.0 | 1382 | 9.900 | 62.20 | 0.101 | 3.46E-06 | 0.00135 |

ВЫВОД

- Исходя из АЧХ рассматриваемой расчетной схемы для вычисления показателя IRI был сделан вывод о необходимости рассмотрения не бесконечного диапазона **длин волн неровностей, а только от 0,1 м до 400 м** (снижение амплитуды в 800 раз)
- Требования к профиломерам установлены для меньших диапазонов частот:
 - для профиломеров 2 класса: диапазон **длин волн неровностей от 0,707 м до 45,255 м** (снижение амплитуды в 15 раз малых частот и в 7 раз для больших частот);
 - для профиломеров 1 класса диапазона **длин волн неровностей от 0,707 м до 90,51 м** (снижение амплитуды в 15 раз для малых частот и в 30 раз для больших частот).
- Минимальный шаг измерения продольной ровности устанавливается **0,125 м**, т.е. минимальная экспериментальная длина волны неровности может составлять **0,25 м**.

Виды профилометров по производителям передвижных лабораторий



АО «СНПЦ РДТ»



ООО «Спецдортехника»



НПО «Регион»

Альтернативные виды оборудования для определения продольной ровности проезжей части

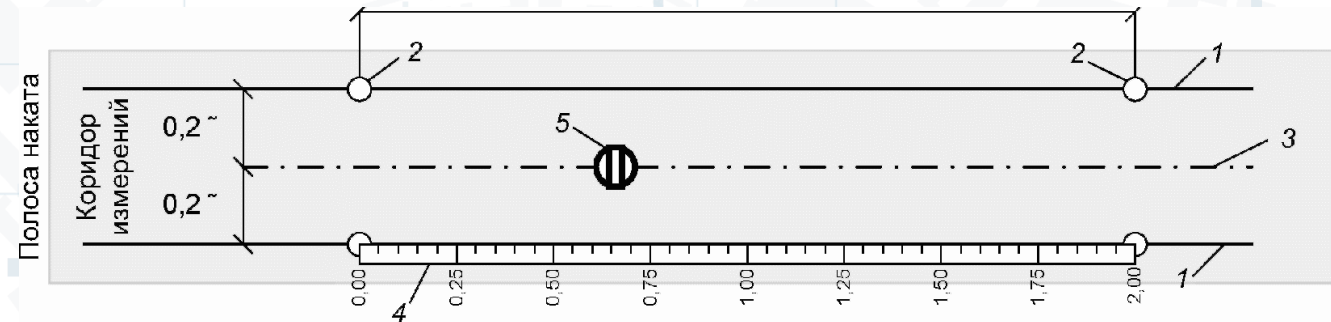


Система мобильного сканирования АГМ-МС7

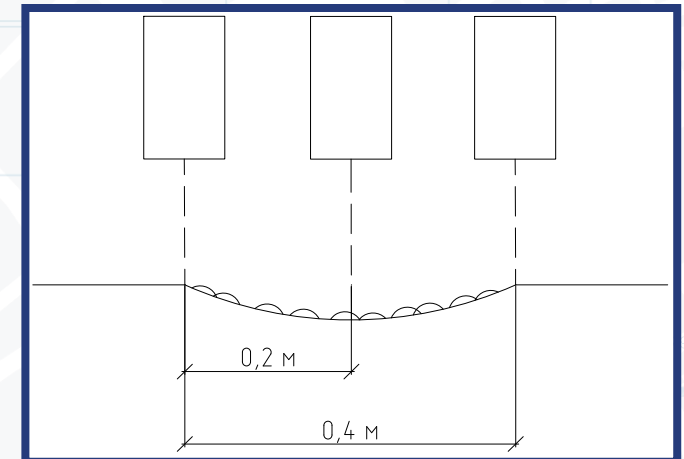
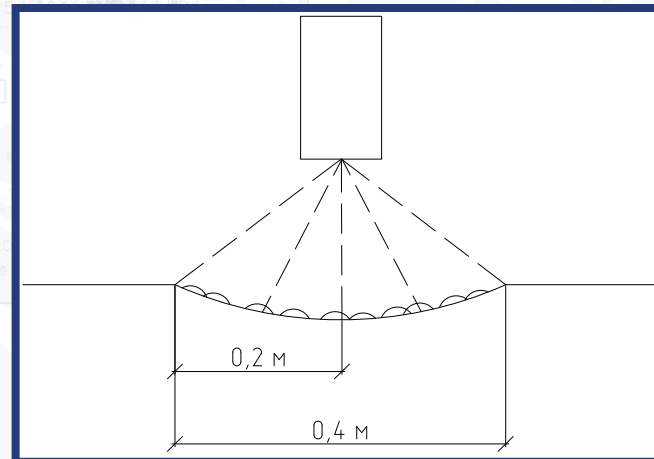
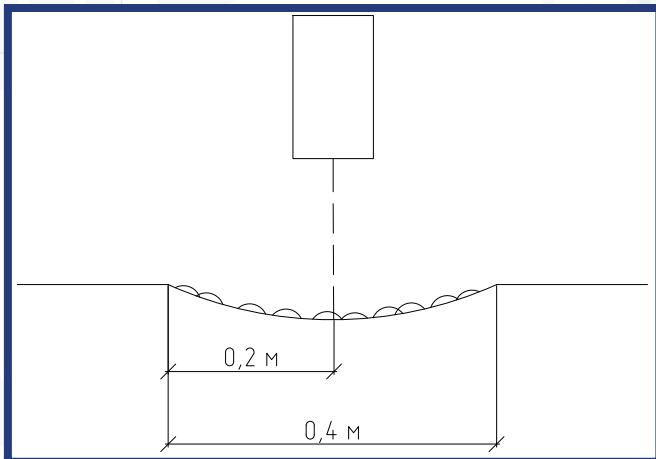


Trimble MX-9

Схема разметки коридора измерений при нивелировании тестового участка



1. граница коридора измерений;
2. маркированные отметки на границах коридора с шагом 2 м;
3. линия установки центра пяты нивелирной рейки;
4. рулетка для определения мест установки рейки с шагом 0,25 м;
5. нивелирная рейка с пятой диаметром 100 мм



Универсальная и специализированные мобильные дорожные лаборатории

Система мобильного лазерного сканирования

- два лазерных сканера (лидара)
- инерциальная система
- два ГНСС-приемника
- панорамная камера
- три дополнительные камеры

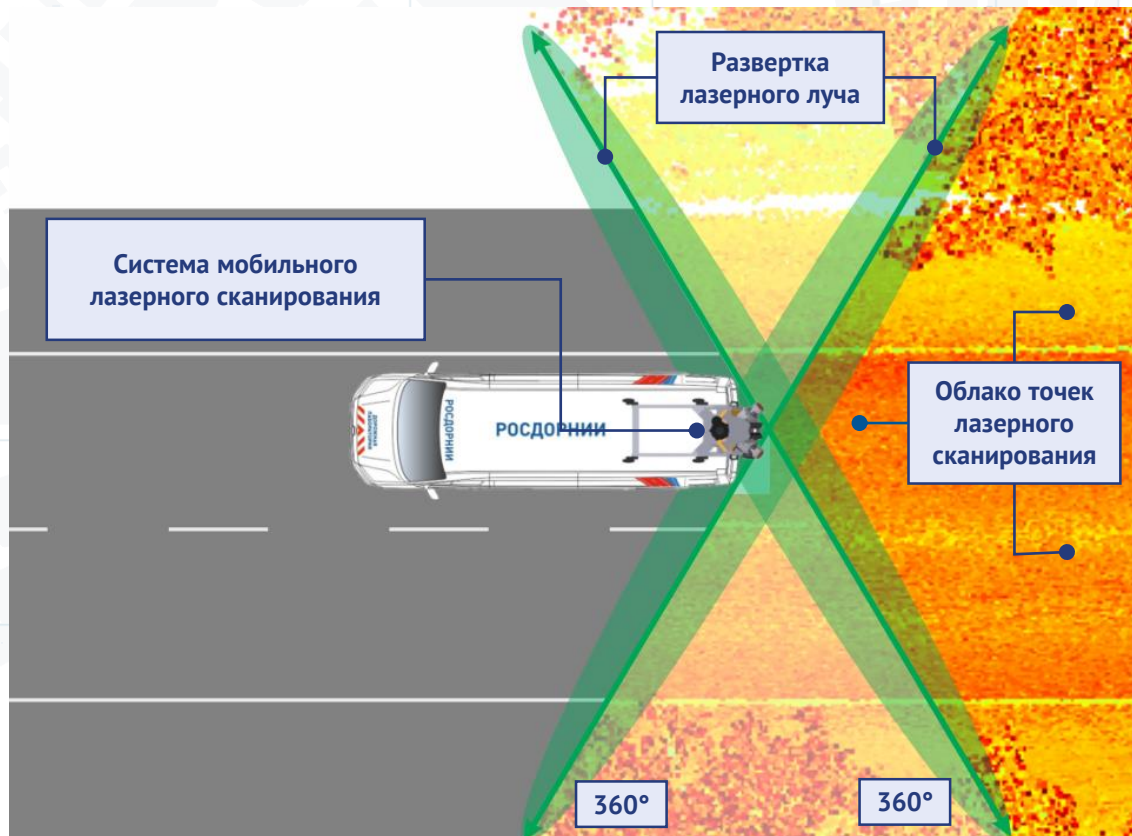


Дополнительное оборудование

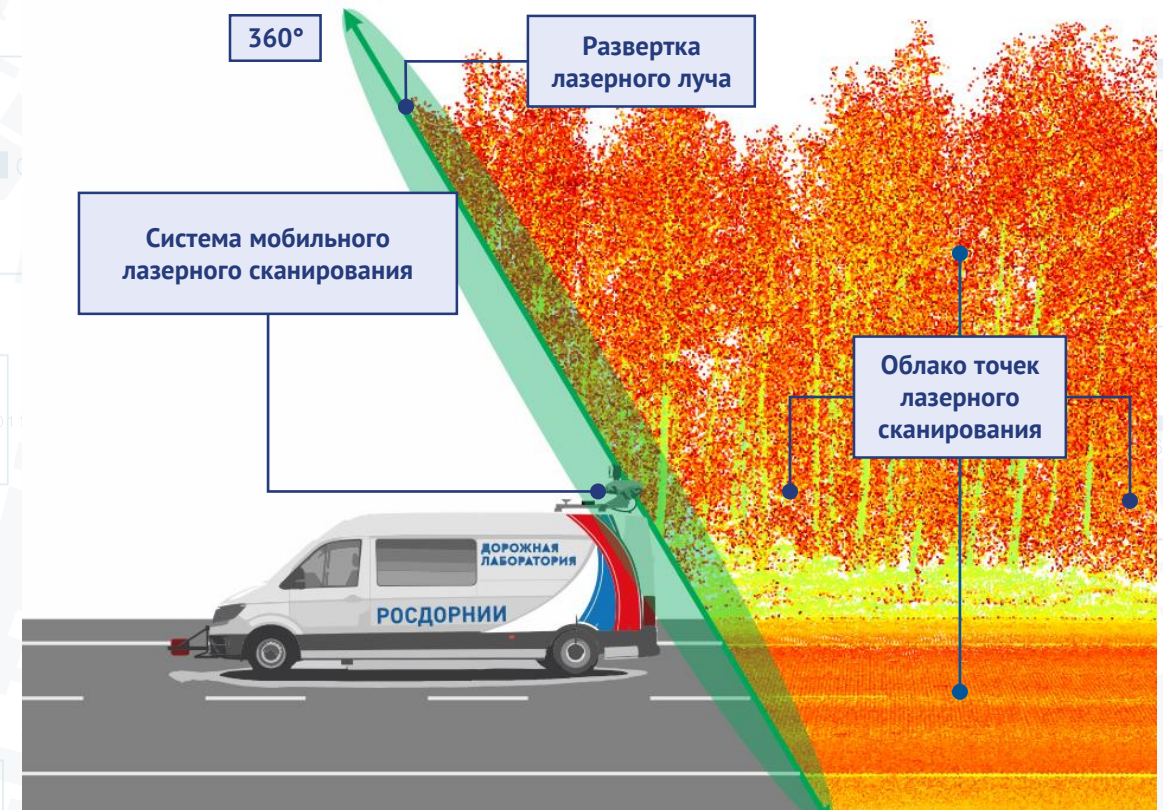
- многоканальный георадар
- лазерный профилометр
- наземный лазерный сканер
- комплект геодезического оборудования



Принцип работы лазерного сканера на примере работы системы мобильного лазерного сканирования







Схематичное отображение проведения работ по мобильному лазерному сканированию (вид сверху). Используется 2 лазерных сканера (лидара) для уменьшения площади теневых зон



Схематичное отображение проведения работ по мобильному лазерному сканированию (вид сбоку)

Получение микропрофиля по облакам точек лазерного сканирования





Облака точек лазерного сканирования позволяют получать микропрофиль автомобильной дороги в любом месте полосы движения:

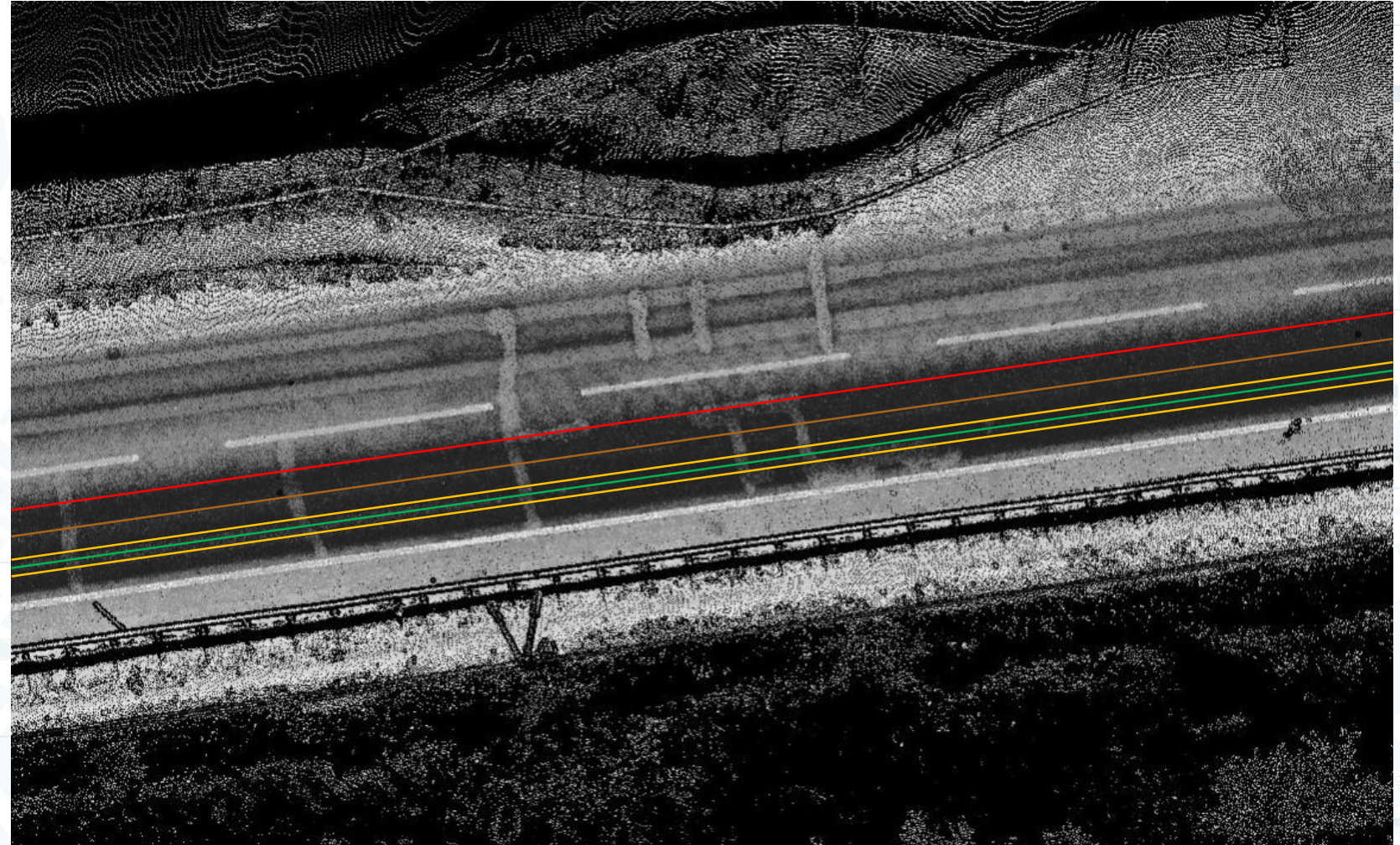
-  по оси правой полосы наката
-  на расстоянии 20 см вправо и влево от оси правой полосы наката
-  по центру полосы движения
-  по оси левой полосы наката



Получение микропрофиля по облакам точек лазерного сканирования

Облака точек лазерного сканирования позволяют получать микропрофиль автомобильной дороги в любом месте полосы движения:

-  по оси правой полосы наката
-  на расстоянии 20 см вправо и влево от оси правой полосы наката
-  по центру полосы движения
-  по оси левой полосы наката





Определение микропрофиля участков автомобильных дорог различным оборудованием с приглашением производителей



Разработка предложений по получению и обработке исходных данных профилометров для повышения результатов их сходимости



Разработка предложений по формату записи ординат микропрофиля



Разработка методологии и алгоритмов для программного обеспечения при расчете показателей продольной ровности



Спасибо за внимание

